EUROPÄISCHE RUNDSCHAU

AUS DEM INHALT:

HEFT NR. **13** JAHR 1947

EINZELPREIS S 1.50 / RM 1.50 / FFR. 18.— / SCHWFR. 1.—

ERSCHEINT HALBMONATLICH

FELIX EHRENHAFT

Der magnetische Strom

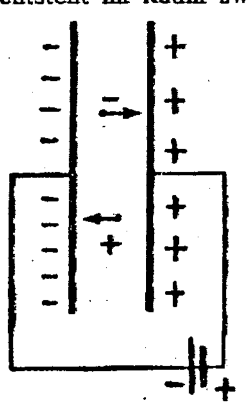
Einzelne nord- oder südmagnetische Pole)*

Bilder siehe auch zwischen Seite 588/589

NACH NAHEZU 40JÄHRIGER Arbeit konnte ich im Februar des Jahres 1942 den folgenden Gedanken aussprechen: „Die Welt ist nicht nur von elektrischen, sondern auch von magnetischen Strömen durchflossen!"

Um klar zu verstehen, was ich unter einem magnetischen Strom verstehe, müssen wir zuerst den Begriff des elektrischen Stromes erfassen. Jede bewegte elektrische Ladung stellt an sich schon einen elektrischen Strom im Sinne unserer heutigen Begriffsbildung dar. Wir haben also zunächst die Frage zu beantworten: „Was ist eine elektrische Ladung?"

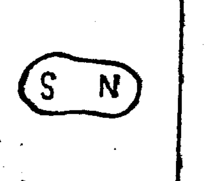
Verbinden wir etwa von zwei sehr großen parallelen Metallplatten die eine Platte mit dem positiven Pol einer Voltaschen Zelle, die zweite mit dem negativen Pol, dann entsteht im Raum zwischen diesen beiden Platten im Sinne Faradays ein gleichförmiges elektrisches Feld. Der Raum zwischen den Platten ist mit Gas gefüllt. Werden in dieses elektrische Feld kleine Körper beliebiger Substanz gebracht, so erkennt man, daß die Körper elektrische Ladungen tragen nur daran, daß sie sich zu der einen oder der anderen Platte bewegen. Diejenigen Körper, die sich zu der positiven Platte bewegen, nennt man negativ geladen und umgekehrt. (Fig. 1.) Wenn das Feld durch Umpolung der Platten umgekehrt wird, kehrt sich auch die Bewegungsrichtung der Körper um. Ungeladene Körper oder Körper, die zwei gleich große Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens tragen, bewegen sich zu keiner dieser Platten.



(Fig. 1)

Wir sehen also aus diesem einfachen Experiment, daß es Körper gibt, die einen Exzeß an positiver Ladung im Sinne von Maxwell haben, solche, die einen negativen Ladungsüberschuß tragen, und solche, die gar keinen Ladungsüberschuß haben; diese sind entweder gänzlich ungeladen oder tragen zwei gleich große Ladungen entgegengesetzten Vorzeichens, man nennt sie elektrische Dipole. (Fig. 2.)

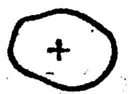
Ganz anders ist es beim Magnetismus. Im Jahre 1269 berichtete Peter Peregrinus über ein Experiment, das die Chinesen zirka 3000 Jahre früher gemacht hätten. Eine Abbildung dieses Experiments findet sich in dem bekannten Buch Gilberts „De Magnete". (Fig. 3.) Ein „Loadstone" oder das, was man heute einen Magneten nennt, wird auf der Oberfläche des Wassers oder im Wasser durch einen Kork schwebend gehalten, und dieser Magnet, so berichtet man, richtet sich, wenn er verdreht wird, hundertmal und mehr immer wieder in die Nordsüdrichtung, er schwimmt jedoch nicht in die Richtung, die man Nordsüd nennt. Aus diesem Versuch hat man durch Jahrhunderte geschlossen, daß jedes Stück Materie, mag es auch noch so klein sein, stets die gleiche Menge Nord- wie Südmagnetismus enthalte, und hat darauf die Theorie aufgebaut, Magnetismus bestehe nur in der Form von Dipolen. (Fig. 4.) Magnetismus besitze also keine wahren Ladungen im Sinne unserer Ladungsdefinition und unterscheide sich dadurch grundsätzlich von der Elektrizität.



(Fig. 4)

Man findet in den Schulbüchern noch ein anderes Experiment angegeben, das sich mit der grundsätzlichen Natur des Magnetismus beschäftigt. Es ist dies der Stricknadel- oder Zerbrechversuch. Eine magnetisierte

*) Urania-Vortrag vom 14. Mai 1947.



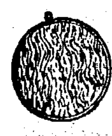






(Fig. 2)

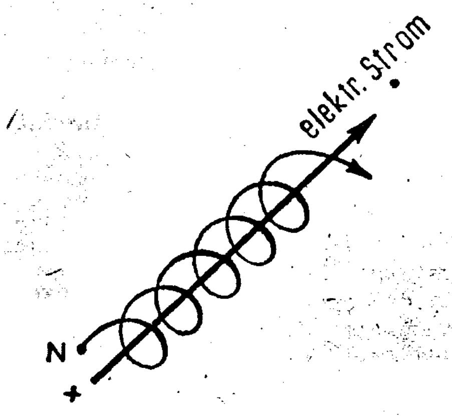
Stricknadel besitzt einen Nord- und einen Südpol; zerbricht oder zerschneidet man sie, so weisen die beiden Teile der Nadel wieder je einen Nord- und einen Südpol auf. Dieses sogenannte Grundexperiment, das von Maxwell zitiert wird, wird allen Kindern in der Schule vorgetragen, aber es findet sich nirgends ausführlich in der wissenschaftlichen Literatur beschrieben, es ist ein Kindermärchen. Es ist auch unmöglich, diesen Versuch wirklich zu machen, denn zerschneiden, zerbrechen, reiben eines Eisenstückchens erzeugt stets Magnetismus. Um dies klar zu erkennen,

(Fig. 3)

braucht man nur ein Stück unmagnetisches weiches Eisen zu nehmen und zu brechen, oftmals zeigen dann die neu entstehenden Bruchstücke Nord- und Südpole an den Bruchstücken, während das andere Ende unmagnetisch geblieben ist. Dieses Experiment gibt also keinen wirklichen Anhaltspunkt über die Natur des Magnetismus.

Vor Oersted beschäftigten sich verschiedene Forscher, z. B. Romagnosi in Trento, Tirol, mit Erscheinungen, die auf Zusammenhänge zwischen Elektrizität und Magnetismus hinweisen, aber erst dem großen Dänen war wieder eine entscheidende Erkenntnis beschieden. Oersted brachte 1820 eine Magnetnadel in die Nähe eines Drahtes, der die Pole einer Voltazelle verband, und bemerkte, daß diese Magnetnadel sich stets so einstelle, daß sie tangential zu Kreisen gerichtet ist, welche diesen Draht konzentrisch umgeben. Er schloß daraus mit großer Weisheit, daß um den Draht ein magnetischer Wirbel vorhanden sei. (Fig. 5.) Ampère in Paris — die Franzosen sind immer voran und mutig genug, solche grundlegende Versuche als erste zu wiederholen — bestätigte den Versuch nach wenigen Tagen, nachdem er von ihm durch De La



(Fig. 5)

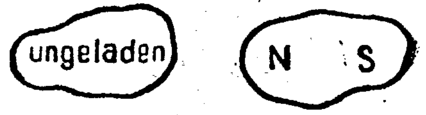
Rive oder Arago erfahren hatte, und formulierte seine Versuchsergebnisse in dem fundamentalen Satz: „Dieser Draht ist von einem elektrischen Strom durchflossen — die Intensität des elektrischen Stromes ist proportional der Arbeit, die man leisten muß oder die das System leistet, wenn man einen einzelnen magnetischen Pol (dessen Existenz nach damaliger Ansicht nur eine Fiktion war) von der Stärke Eins einmal auf irgendeinem Weg den stromdurchflossenen Draht umkreisen läßt."

Dies ist die im Prinzip noch heute gültige Messung des elektrischen Stromes, dessen Einheit „ein Ampère" im praktisch-technischen Maßsystem ist. In dieser Erkenntnis war Ampère — wenn sie dem Verfasser auch nicht ganz richtig erscheint — unbedingt von epochaler Bedeutung.

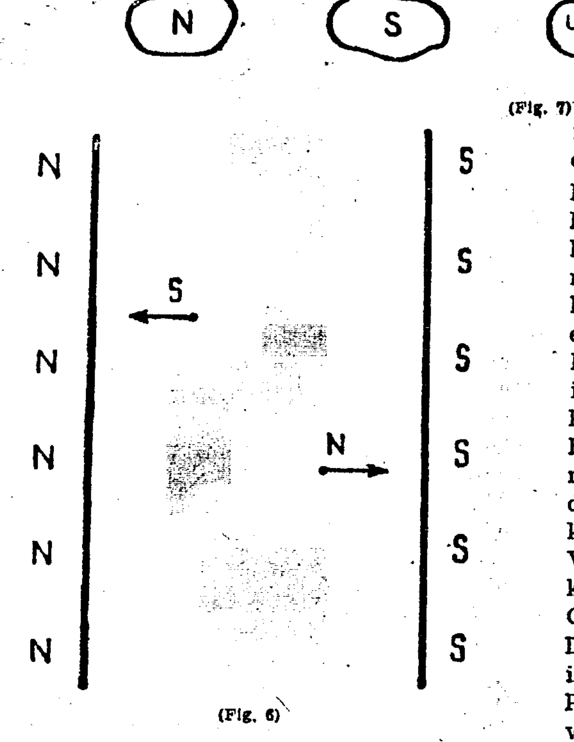
Ein elektrischer Strom hat also eine magnetische Wirkung und, wie weitere Versuche zeigen, zerlegt er, wenn er fließt, die Materie, er hat also auch eine chemische Wirkung. Ampère war nun auf Grund des von Peregrinus überlieferten Experiments der Ansicht, daß jeder Magnet zwei Pole gleicher Stärke besitze und daher hinsichtlich seiner Wirkung in die Ferne durch einen in sich geschlossenen elektrischen Kreisstrom ersetzt werden könne. So glücklich Ampère als Physiker in der Definition und Messung des elektrischen Stromes ge-

wesen war, so unglücklich und hemmend für die ganze weitere Entwicklung der Physik war dieser zweite Gedanke metaphysischer Art. Ampère hat durch diese Formulierung mit einem Schlag den Magnetismus als selbständige Naturkraft ausgelöscht und, ausgehend von Ampère, wurde in der Folge der Magnetismus auf rein elektrische Phänomene zurückgeführt und hörte auf, als selbständige Wissenschaft zu existieren. Die gesamte physikalische Welt hat sich in der weiteren Folge diesem Gedankengang angeschlossen.

sofort stehen, um nach Abschaltung des künstlichen Feldes erneut ihre Bewegung in der alten Richtung aufzunehmen, und diesen Vorgang kann man beliebig oft wiederholen. Ich muß zu meiner eigenen Schande gestehen, daß es zehn Jahre dauerte, bis ich diesen meinen Versuch verstand. In den Februartagen des Jahres 1940, als ich mich auf meinen ersten amerikanischen Vortrag vorbereitete, da schoß es mir durch den Kopf, daß ich ja den Peregrinus-Versuch mit empfindlichen Mitteln wiederholt habe, zum erstenmal



(Fig. 7)



(Fig. 6)

Nun habe ich bereits im Jahre 1935 mit meinen Schülern im Physikalischen Institut in Wien den alten Versuch des Peregrinus mit empfindlichen Mitteln nachgemacht. Es war dies die erste empfindliche Wiederholung dieses Versuches und ich habe die Versuche in Paris veröffentlicht. Ich suspendierte in Gasen sehr feine beleuchtete Nickelteilchen von der Größenordnung 10^{-4} cm und es konnte von mir und meinen Schülern beobachtet werden, daß sich eine Anzahl dieser Teilchen nach dem Norden, andere nach dem Süden bewegten. (Fig. 6.) Ueberlagerte man dem magnetischen Feld der Erde ein gleich großes, entgegengesetzt gerichtetes künstliches Magnetfeld, dann blieben diese Teilchen

nach 3000 Jahren, und daß das Ergebnis ein ganz fundamentales sei:

Es gibt Körper, die einen Ueberschuß an Nordmagnetismus tragen und sich im homogenen magnetischen Feld der Erde nach Süden bewegen, es gibt einzelne isolierte Südpole, die nach Norden wandern, es gibt magnetische Dipole und ungeladene Körper. (Fig. 7.) Die Dipole richten sich nur im homogenen Feld und die ungeladenen Körper zeigen überhaupt keine Bewegung. Es wird sofort evident, daß man einzelne magnetische Nordpole und Südpole nicht durch elektrische Kreisströme ersetzen kann, wie es Ampère tat, und daß Ampères Versuch der Vereinheitlichung des physikalischen Weltbildes auf elektrischer Grundlage vorschnell war.

Dieser gewaltige Fehlschlag Ampères ist in seinen Auswirkungen nicht nur in die Physik, sondern in die ganzen Naturwissenschaften eingegangen und hat nach meiner Ansicht diese in eine einseitige Bahn gelenkt. Ich dachte damals, daß wenigstens die klassische Mechanik von diesem Fehlschluß unberührt bleiben würde, aber ich habe heute die Ueberzeugung, daß sogar wichtige Thesen der klassischen Mechanik Newtons und Galileis modifiziert werden müssen.

Um der vollen Wahrheit gerecht zu werden, der ich immer huldigte, muß ich aber feststellen, daß einzelne Physiker zumindest Bedenken gegen das Ampèresche Konzept hatten und nach einzelnen Magnetpolen suchten. So zum Beispiel der Wiener Physiker Stefan. Ich muß feststellen, daß H. Hertz, der Entdecker der elektrischen Wellen, in jener Schrift, in der er dem

kontinentalen Publikum die englische Elektrizitätstheorie Maxwells auseinandersetzte, nachfolgenden Gedanken klar aussprach: „Wir haben zu sprechen vom konstanten magnetischen Strom mit demselben Recht wie vom konstanten elektrischen Strom, und magnetische Pole, welche eine kontinuierliche Linie bilden und welche in Richtung dieser Linie mechanisch bewegt sind, haben eine elektrostatische Wirkung im umgebenden Raum." Ganz so wie beim elektrischen Strom, lassen sich auch chemische Wirkungen, hervorgerufen durch reinen Magnetismus, mit Sicherheit feststellen, und es existiert auch ein Gegenstück zum Oerstedschen Versuch. Auch Pierre Curie suchte nach diesen. Hermann von Helmholtz, gleich groß als Physiker, Anatom und Physiologe, schrieb als Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt den fundamentalen Ausspruch: „Der größte Mangel des 19. Jahrhunderts ist unsere absolute Unwissenheit über den Magnetismus." Die Lehre vom Magnetismus war durch die Ampèresche Hypothese, die auf eine Vereinheitlichung unseres Weltbildes auf Kosten des Magnetismus als selbständige Naturerscheinung zielte, verschleiert worden.

Der Versuch gibt nun auf diesem Gebiet noch weitere Aufklärung, die nach meiner Ansicht noch viel erschütternder ist als die schon erwähnte Entdeckung der einzelnen Magnetpole.

Der einzelne Magnetpol offenbart sich durch den Umstand, daß im gleichförmigen Magnetfeld einzelne Körperchen entweder nach Norden oder nach Süden laufen und ihre Bewegungsrichtung bei Umkehr des Feldes umkehren.

Nun arbeiten wir aber noch genauer, wir errichten ein gleichförmiges Magnetfeld und beobachten in diesem die Bahnen kleiner Körper mit dem Mikroskop, und da offenbart sich eine neue fundamentale Erscheinung. Die Körperchen bewegen sich im homogenen Magnetfeld nicht in geradlinigen Bahnen, sondern sie beschreiben Schraubenlinien oder Teile solcher mit regelmäßigen, äquidistanten rechts- oder linksgängigen Schraubengängen.

Es gelang nun, Mikrophotographien solcher Bahnen herzustellen, und wir fanden zum Beispiel Eisenteilchen, die in weniger als einer halben Sekunde 40 Schraubengänge durchlaufen, die eine Ganghöhe von 2,5 mal 10^{-3} cm haben und deren Durchmesser 10^{-2} cm ist. Die Materie bewegt sich also im homogenen Magnetfeld in schraubenförmigen Bahnen — helicoiden Bewegungen. Diese die gesamten Naturwissenschaften erschütternde Erscheinung hat ihr Gegenstück auch im homogenen elektrischen Feld. Ich beobachtete mit dem Mikroskop diese helicoiden Bewegungen, und der Direktor der Poudrerie Nationale de Vonges in Frankreich, Dr. Pierre Tauzin, war so glücklich, diese schraubenförmigen Bewegungen im homogenen elektrischen Feld zu mikrophotographieren. (Fig. 8 u. 9.) Er verwendete für seine Untersuchungen, die sich der regsten Anteilnahme und Unterstützung des berühmten französischen Forschers auf dem Gebiet des Magnetismus Aimé Cotton erfreuen, die verschiedensten Materialien, so zum Beispiel Tröpfchen von organischer Materie und unter anderem auch Oeltröpfchen, und dies ist besonders pikant für den Kenner der Physik, weil dadurch die Resultate der Ladungsbestimmung des elektrischen Elementarquants in einem besonderen Licht erscheinen.

Wir sehen also, daß sowohl in den homogenen elektrischen wie magnetischen Feldern die ganz neue Erscheinung existiert, daß sich kleine Körperchen in helicoiden Bahnen bewegen. Es scheint der Oerstedsche Versuch nur ein ganz kleiner Spezialfall einer allgemeinen Naturerscheinung zu sein.

Nun hatte ich in Wien schon vor 30 Jahren die Entdeckung gemacht, daß in einem homogenen Lichtstrahl Materieteilchen derselben chemischen und physikalischen Art sich entweder in der Richtung zur Lichtquelle — lichtnegativ — oder in der Ausbreitungsrichtung des Lichtes — lichtpositiv — bewegen. Ich nannte diese Erscheinung longitudinale Photophorese, denn es gibt auch Körper, die sich transversal zum Licht bewegen, und diese Photophorese ist ebenfalls von Dr. Pierre Tauzin bestätigt worden. In den Vereinigten Staaten habe ich diese Bewegungen mit kunstvollen Mitteln im Sonnenlicht photographiert, und da zeigte sich, daß auch diese Bewegung im Licht in schraubenförmigen Bahnen vor sich geht. (Fig. 10 u. 11.) Um ein Beispiel zu geben, Eisenteilchen, Kupferteilchen und Rauchteilchen bewegen sich in Schraubenlinien im Licht, diese Teilchen machen zwischen 30 und 200 Umdrehungen pro Sekunde in Luft von atmosphärischem Druck und sind durch ein homogenes Magnetfeld beeinfluß-

bar und reversieren mit dem Felde. Auch Tröpfchen von 25 Prozent Chlorophyllösung zeigen diese Erscheinungen, auch sie reversieren mit dem Feld, und so ist ein für die Mediziner und Biologen höchst wichtiger Umstand zutage gebracht, daß die gesamte organische Materie nicht nur elektrisch, sondern auch magnetisch geladen ist. Solche Chlorophyllteilchen werden insbesondere vom Licht angezogen und zeigen lichtnegativen Photophorese.

Als ich in den Vereinigten Staaten im Lichtbild Chromteilchen zeigte, die sich 180mal in der Sekunde in schraubenförmiger Bahn drehen, da rief ein Herr Labourdette in den Saal: „Ja, das ist ja wie die helicoiden Bahnen der Spiralnebel." Er hatte vollkommen recht, dasselbe, was man bei den Bewegungen der kleinen Teilchen im Mikroskop beobachtet, dasselbe offenbart das Fernrohr im Weltenraum.

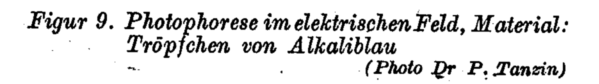
Wir kommen zu dem Schluß, daß in allen Feldern, den elektrischen, den magnetischen und den Strahlungsfeldern, die allgemeine Form der Bewegung nicht die geradlinige Bahn, sondern die Helix ist, mit regelmäßigen äquidistanten Schraubengängen."

Im Hinblick darauf, daß sich im Mikroskop wie im Fernrohr dasselbe offenbart, könnten wir da zu einem Weg kommen, uns der Gravitationskraft Newtons experimentell zu nähern. Vor allem sei die Frage aufgeworfen, ob diese allgemeine Helixbahn dem Galilei-Newtonschen Prinzip widerspricht. Alle Körper bewegen sich in der Welt in Feldern, und wie wir gesehen haben, bewegen sie sich in solchen Feldern in Schraubenbahnen. Das alte Problem, die Erscheinungen der Gravitation und der elektrischen und magnetischen Felder einheitlich darzustellen, ist zuerst von Faraday begonnen worden, der am 19. März 1849 durch Experimente diese Zusammenhänge ergründen wollte. Er sagt in seinem Tagebuch wörtlich: „Gravitation — sicherlich muß diese Kraft fähig sein, in eine experimentelle Beziehung zu Elektrizität und Magnetismus gebracht zu werden."

Von diesem experimentellen Weg ist man leider abgegangen — sie alle kennen die rein spekulativen Bestrebungen vieler Physiker, darunter auch Einsteins, Elektrizität, Magnetismus und Gravitation einheitlich darzustellen. Wie Einstein selber anläßlich seines 68. Geburtstages in der „New York Times" auseinandersetzte, sind seine Theorien, die er am grünen Tisch mit Bleistift und Papier entwickelt, 99mal falsch und einmal richtig. Ich erwiderte ihm damals, daß es fraglich sei, ob sie das hundertstemal richtig seien. Diese Gedankenexperimente, darunter auch der Zerbrechversuch im Magnetismus, haben unter Umständen irreführende Wirkungen. Die Probleme sind experimentell zu lösen, und ich glaube nicht zu irren, wenn ich annehme, daß man durch die Entdeckung der Schraubenbahnen in Strahlungsfeldern allgemeiner Art wichtige Anhaltspunkte für die Lösung der Frage der Gravitation gewinnen wird können. Ich werfe dazu nur folgende Frage auf: Wovon ist der Weltenraum erfüllt, der zwischen den Himmelskörpern liegt? Ketten gibt es zwischen diesen nicht. Er ist erfüllt mit Strahlung, mit elektrischen und magnetischen Strömen; diese Strahlung ist aber nicht nur gewöhnliche Lichtstrahlung, sondern es ist dies die gewaltige, durchdringende Strahlung, die von dem österreichischen Physiker V. F. Hess entdeckt wurde. Diese Strahlung durchdringt die Himmelskörper, es sind zum Beispiel Erscheinungen bewiesen worden, die auf der ganzen Erdoberfläche gleichzeitig auftreten. Bisher hat man gemeint, daß die Kräfte der Strahlung der Oberfläche proportional sind und daher nicht zu groß werden können, diese durchdringende Strahlung geht durch die Materie durch, ihre Wirkung ist dem Volumen proportional, die Kräfte können gigantisch groß werden und durchaus der Größenordnung der Gravitationskräfte entsprechen. So ist es vielleicht gar nicht ausgeschlossen, daß Gravitationskräfte jene Kräfte sind, die die durchdringende Strahlung auf die Materie ausüben. Dies wird besonders nahegelegt durch gewisse neuere Beobachtungen, die ich im Mikroskop machte und die zeigen, daß derselbe Körper, je kurzwelliger die Strahlung ist, von der er getroffen wird, um so stärker von der Lichtquelle angezogen wird.

Hier eröffnet sich ein ungeheures neues Gebiet der Forschung und damit vielleicht auch ein Weg, den Zusammenhängen zwischen Elektrizität, Magnetismus und Gravitation auf die Spur zu kommen und einen tatsächlichen Schritt vorwärts in Richtung der Vereinheitlichung unseres Weltbildes zu tun, aber auf experimentellem Weg.

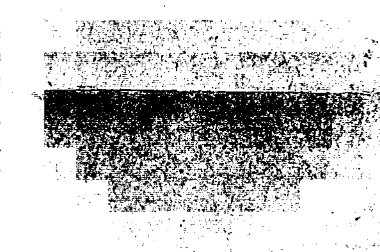
Figur 8. Photophorese im elektrischen Feld, Material: Tröpfchen von Indulinblau
(Photo Dr. P. Tanzin)



Figur 9. Photophorese im elektrischen Feld, Material: Tröpfchen von Alkaliblau
(Photo Dr P. Tanzin)



Longitudinale und transversale Photophorese von Eisenteilchen. In der Mitte longitudinale Photophorese — rechts und links je ein Teilchen in transversaler Photophorese, die Bewegung in Schraubenbahnen ist deutlich zu sehen. Die Teilchen rechts und links stehen zunächst unter dem Einfluß der Photophorese, sie drehen sich $^1/_4$ Sekunde lang mit etwa 12 Umdrehungen pro Sekunde, dann wird ein Nord-Südfeld eingeschaltet — siehe Ablenkung nach rechts — dann ein Süd-Nordfeld und das Teilchen an seinen alten Platz zurückgeführt, dann folgt wieder transversale Photophorese. Teilchengröße etwa $2{,}10^{-5}$ cm.



Figur 11.

Longitudinale Photophorese. Zunächst bewegt sich der Probekörper im Lichtstrahl allein, seine Bahn ist eine Schraubenlinie, dann wird für eine halbe Sekunde ein dem Lichtstrahl paralleles magnetisches Feld von 50 Gauß zugeschaltet, die Schraubenbahn verbreitert sich deutlich, das Teilchen dreht sich mit etwa 7 Umdrehungen pro Sekunde, dann wird das magnetische Feld wieder abgeschaltet, die Bahn ist wieder so wie zu Beginn des Versuches. Beleuchtung und Magnetfeld liegen horizontal, Durchmesser des Teilchens $2{,}10^{-5}$ cm, Schraubendurchmesser etwa $2{,}10^{-3}$ cm, Ganghöhe $1{,}4 \cdot 10^{-3}$ cm, horizontale Geschwindigkeit mit Feld $2{,}0 \cdot 10^{-2}$ cm/sec, ohne Feld $1{,}1 \cdot 10^{-2}$ cm/sec.

